

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN AMPLIFICADOR DE POTENCIA RF A 1748 GHz - ÁREA DE INGENIERÍA

(Design and Implementation of a Power Amplifier RF at 1,748 GHz – Engineering Area)

Jorge Julián Moreno Rubio*, Will Amaya Medina*, Libardo Enrique Hernández**

*Escuela de Ingeniería Electrónica, Uptc-Sogamoso, Grupo de Investigación GINTEL, jjmorenorubio@yahoo.com, willamaya@gmail.com

** Escuela de Ingeniería Electrónica, Universidad Javeriana, Grupo de Investigación GINTEL, gintelgrupo@gmail.com

(Recibido Abril 20 de 2007 y aceptado de Septiembre 20 de 2007)

<p>Resumen Los amplificadores clase F se caracterizan por su alta eficiencia, que los hace útiles en circuitos de transmisión. El presente artículo contiene el diseño, simulación e implementación de un amplificador RF clase F a 1748 GHz. La implementación se realizó utilizando líneas microcinta con substrato RF 35 de la empresa Taconic. Se muestran los resultados obtenidos y se evalúa su comportamiento.</p>	<p>Abstract Class F Amplifiers have a high efficiency as its main characteristic, which makes them useful in transmission circuits. This paper contains the design, simulation and implementation of a RF class F at 1,748 GHz amplifier, besides its importance. The implementation was carried out using micro strip lines with RF 35 substrate, made by the Taconic company. The obtained results are shown and its behavior is evaluated.</p>
<p>Palabras clave: Amplificador clase F, Transistor ne6510173a, Eficiencia de potencia dc, Armónicos.</p>	<p>Key words: Class F amplifier, Ne6510173a transistor, Power efficiency dc, Harmonics.</p>

1. INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta la importancia que desde la década de los ochenta del siglo XX han tomado las comunicaciones inalámbricas y su continuo crecimiento tecnológico para conectividad con voz, video y datos, surge la necesidad de ampliar nuestros conocimientos en esta área de trabajo tan útil para el desarrollo de las comunicaciones.

Para empezar a explorar en el campo de los circuitos de radiofrecuencia se llevó a cabo el diseño e implementación de un prototipo de amplificador de potencia RF clase F a 1748 GHz, utilizando líneas microcinta con substrato RF 35 de la empresa Taconic, el cual tiene una constante dieléctrica de 3,5. Se utilizó una red de acople de salida que consta de una topología con tres líneas de transmisión.

Se espera continuar con el desarrollo de más circuitos de importancia en la electrónica de Radio Frecuencia, así como constituir una base sobre la que se puedan desarrollar nuevos proyectos de investigación.

2. MARCO TEÓRICO

Un amplificador clase F se caracteriza por una red de carga que entra en resonancia en una o más frecuencias armónicas, como también a la frecuencia fundamental.

El circuito que se muestra en la figura 1 es la etapa de salida de un amplificador que maximiza el armónico de tercer orden,

donde el resonador en derivación entra en resonancia a la frecuencia fundamental y el resonador en serie, en el tercer armónico. Cuando el transistor es excitado por una fuente sinusoidal, conducirá aproximadamente por medio ciclo y estará en corte por el otro medio.

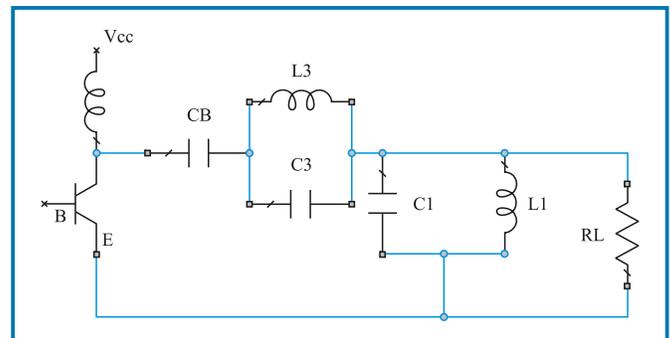


Figura 1. Etapa de salida de un amplificador Clase F (Davis & Agarwal, 2001).

La forma de onda de la corriente es convertida por el resonador L_1, C_1 . El resonador L_3, C_3 no es lo suficientemente transparente a la frecuencia fundamental, pero bloquea el armónico de tercer orden. Si el voltaje del tercer armónico sobre el drenaje o colector tiene la amplitud y fase adecuadas, tenderá a producirse un voltaje sobre el dispositivo con forma más cuadrada. Esto hará que el transistor actúe aproximadamente como un switch, incrementándose así la eficiencia. Se ha encontrado que la forma de onda es más cuadrada si el voltaje

del armónico de tercer orden es un noveno del voltaje fundamental.

La expansión en series de Fourier de una onda cuadrada con amplitud desde +1 hasta -1 y periodo 2π está dada por la ecuación 1.

$$\frac{4}{\pi} \left(\text{sen}x + \frac{\text{sen}3x}{3} + \frac{\text{sen}5x}{5} + \dots \right) \quad (1)$$

Consecuentemente, para producir una onda de voltaje cuadrada en el terminal del transistor, la carga debe ser un corto a los armónicos pares, y grandes a los armónicos impares.

Ordinariamente solo el segundo armónico, el tercer armónico y la fundamental son tenidos en cuenta. En el amplificador clase F típico, mostrado en la figura 1, el circuito tanque L_1, C_1 entra en resonancia a la frecuencia de salida f_o y el circuito tanque L_3, C_3 entra en resonancia a $3f_o$.

El capacitor de bloqueo C_B podría usarse para proveer un corto a tierra a $2f_o$, además de su función para bloquear dc.

El diseño de la etapa final del amplificador clase F procede primero determinando C_1 desde el ancho de banda del amplificador. El Q del circuito (ecuación 2) se asume determinado solamente por L_1, C_1 y R_L .

$$Q = \omega_o C_1 R_L = \frac{\omega_o}{\Delta\omega} \quad (2)$$

L_1 se determina por la ecuación 3.

$$L_1 = \frac{1}{\omega_o^2 C_1} \quad (3)$$

C_3 se obtiene a partir de la ecuación 4.

$$C_3 = \frac{81}{160} C_1 \quad (4)$$

L_3 se obtiene de su requerimiento de resonancia con C_3 a $3f_o$, y finalmente C_B desde la ecuación 5.

$$C_B = 8C_3 \quad (5)$$

Al segundo armónico, la línea de transmisión es $\lambda/2$ y el resonador LC es un corto, así $Z_L'(2\omega_o)=0$. La carga efectiva para todas las armónicas puede ser fácilmente encontrada a cada una de las armónicas:

$$\begin{aligned} Z_L'(2\omega_o) &= 0, & \lambda/2 \\ Z_L'(3\omega_o) &= \infty, & 3\lambda/4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_L'(4\omega_o) &= 0, & \lambda \\ Z_L'(5\omega_o) &= \infty, & 5\lambda/4 \end{aligned} \quad (6)$$

3. DISEÑO DEL AMPLIFICADOR

Teniendo en cuenta la frecuencia de diseño de 1748 GHz y utilizando un transistor ne6510173a, adecuado para las especificaciones propuestas, se diseñó una red de polarización fuente común, que tiene una red de acople de salida consistente de una topología con tres líneas de transmisión. Primero, una derivación en cortocircuito conectado al drenaje, de tal forma que genere la impedancia apropiada para el segundo armónico; esta derivación es de longitud cercana a un cuarto de onda a la frecuencia fundamental, por lo que cancela el segundo armónico y su influencia sobre el tercer armónico es mínima. Segundo, una derivación en circuito abierto de un cuarto de onda a tres veces la frecuencia fundamental, la cual produce un cortocircuito para el tercer armónico. Tercero, por medio de una línea se transforma este corto en una impedancia apropiada para conectar al transistor (ver figura 2).

Para la red de acople de entrada se utiliza una red de derivación simple, de tal forma que optimice la ganancia. Para generar una baja impedancia se obtuvieron capacitores de bloqueo dc de 220 pF.

Después de generar el circuito de polarización, en el puerto de salida se ubica la línea de transmisión $\lambda/4$ y el circuito tanque, y se diseña la red de acople de entrada, buscando incrementar la ganancia del amplificador, como se observa en el circuito esquemático obtenido con MWOoffice de la figura 2.

4. ANÁLISIS DE POTENCIA

Las expresiones para eficiencia de potencia dc y eficiencia adicionada de potencia son, respectivamente:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{dc}} \times 100\% \quad (7)$$

$$\eta_{add} = \frac{P_{out} - P_{in-ac}}{P_{dc}} \times 100\% \quad (8)$$

Donde P_{out} es la potencia de salida del amplificador, P_{dc} es la potencia dc y P_{in-ac} es la potencia de entrada ac al amplificador (Davis & Agarwal, 2001).

En la figura 3 se muestran los resultados de la simulación de la eficiencia DC a RF, eficiencia adicionada de potencia y potencia de salida del amplificador clase F versus la potencia de entrada.

Se observa que para una entrada de 25 dBm de potencia se obtuvo una potencia de salida de 30 dBm, lo cual es equivalente a una ganancia de 5 dB, una eficiencia adicionada de potencia del 55% y una eficiencia DC a RF del 66% (ver figura 3).

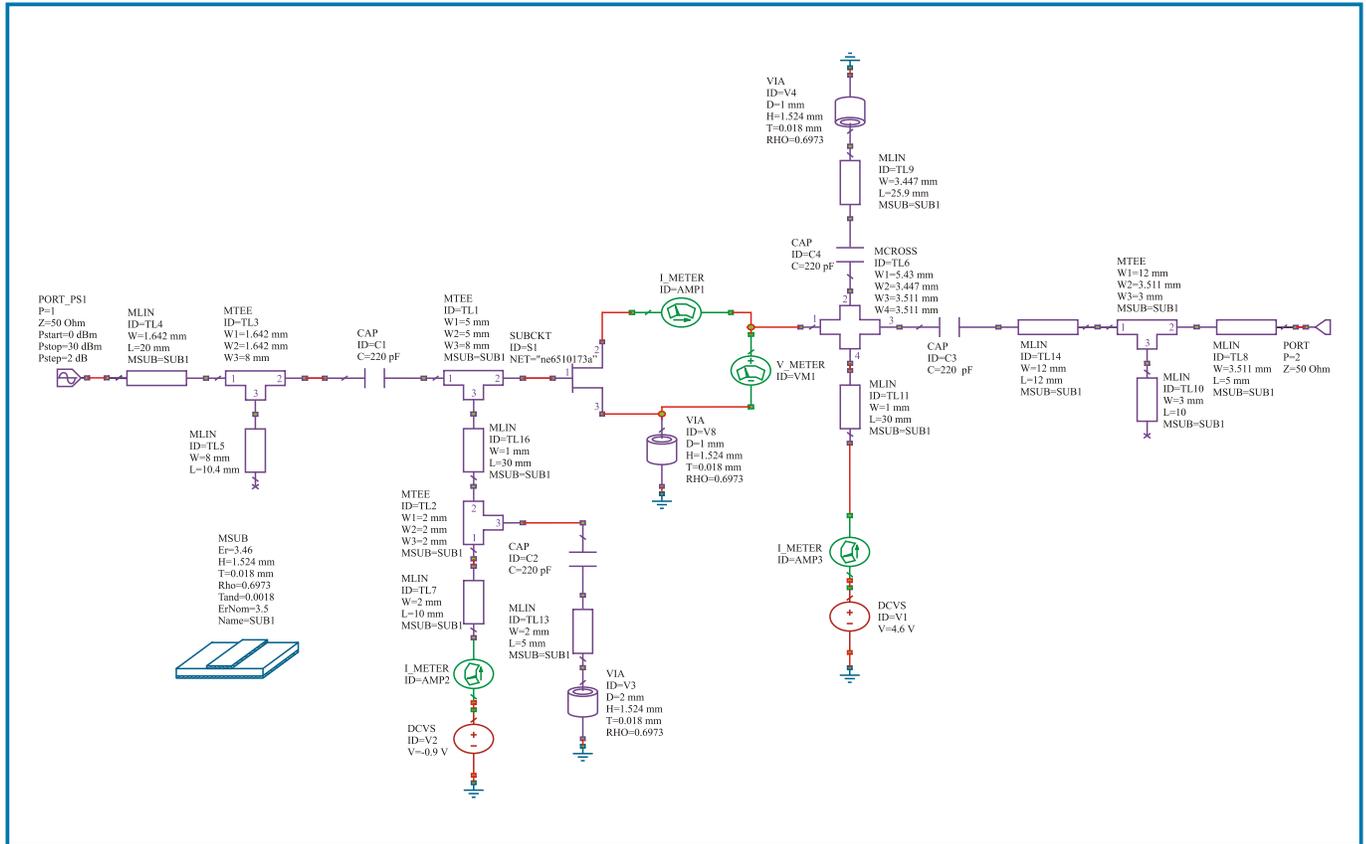


Figura 2. Circuito completo del amplificador clase F obtenido en MWOOffice.

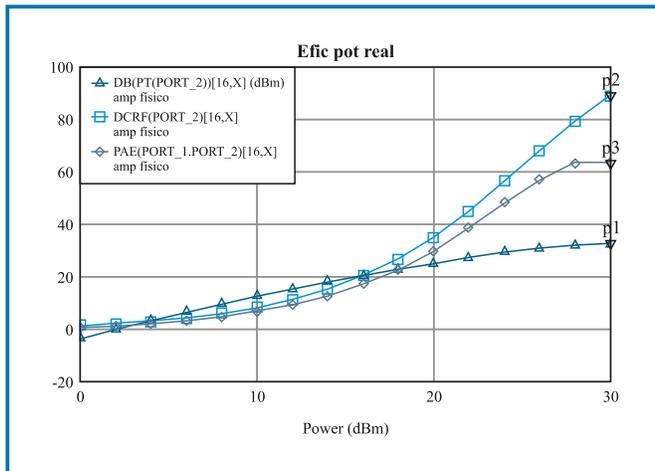


Figura 3. Eficiencia de potencia dc, eficiencia adicionada de potencia y potencia de salida versus potencia de entrada para el primer amplificador.

5. IMPLEMENTACIÓN DEL AMPLIFICADOR

El layout obtenido para el amplificador clase F mostrado en la figura 2 se puede apreciar en la figura 4.

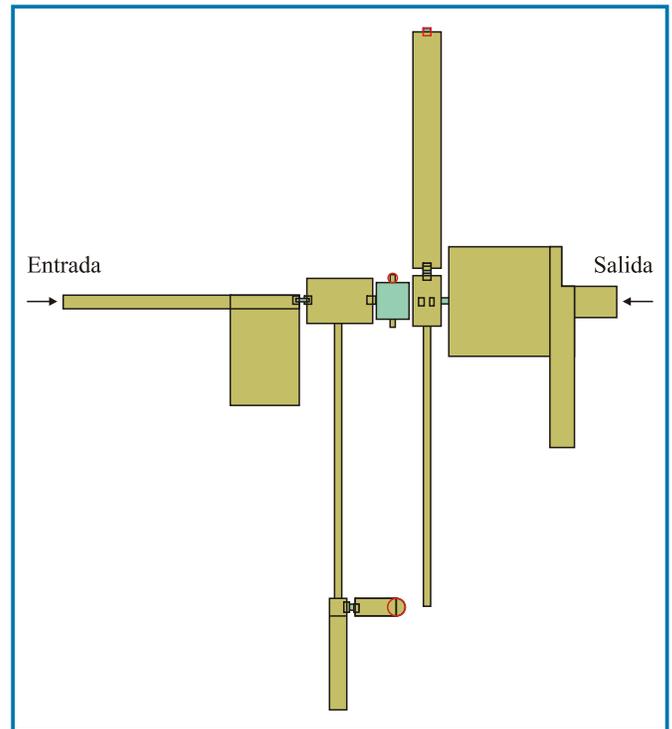


Figura 4. Layout obtenido para el amplificador clase F.

El circuito implementado se muestra en la figura 5.

Para conocer los parámetros del amplificador fue necesario conectarlo en medio de un amplificador Lucix de 40 dB de ganancia y un atenuador de 30 dB (en cascada).

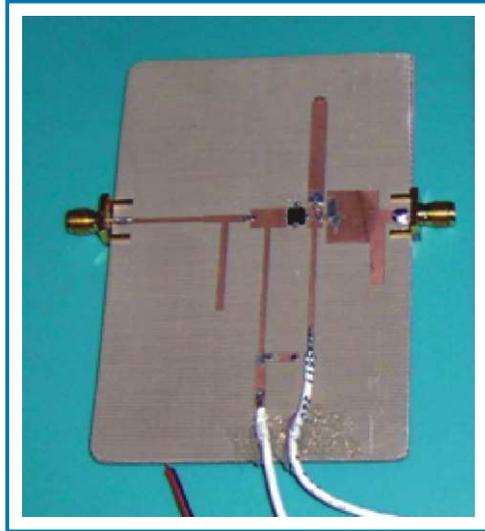


Figura 5. Circuito implementado del amplificador clase F.

6. ANÁLISIS DEL AMPLIFICADOR

Este circuito fue medido con un analizador vectorial de redes HP8753D.06.12 con voltajes de polarización $V_{DS}=6$ V y $V_{GS}=-1,3$ V, para obtener un punto de trabajo semejante a los amplificadores clase B (Gao *et al*, 2006). Haciendo un barrido de potencia a 1,5 GHz y midiendo los parámetros S, tanto del amplificador Lucix en cascada con el atenuador como del atenuador y de los tres dispositivos en cascada, se dedujeron, a partir de los parámetros T - scattering transfer parameters (González, 1997), los parámetros S de este amplificador en función de su potencia de entrada, obteniéndose así la ganancia del amplificador clase F (ver figura 6).

En la figura 6 se observa que para potencias de entrada de alrededor de 20 dBm hasta casi 25 dBm, la ganancia es superior a 3 dB, dando a su vez una potencia de salida cerca de 30 dBm. La eficiencia DC y la eficiencia adicionada del amplificador son aproximadamente:

$$\eta = 70\%$$

$$\eta = 50\%$$

Estos valores se obtienen de las ecuaciones (7) y (8), respectivamente, de los cuales se puede decir que la potencia de entrada está entre 15 y 25 dBm.

7. CONCLUSIONES

Debido a que los transistores son dispositivos no lineales, los amplificadores a transistores presentan efectos no lineales.

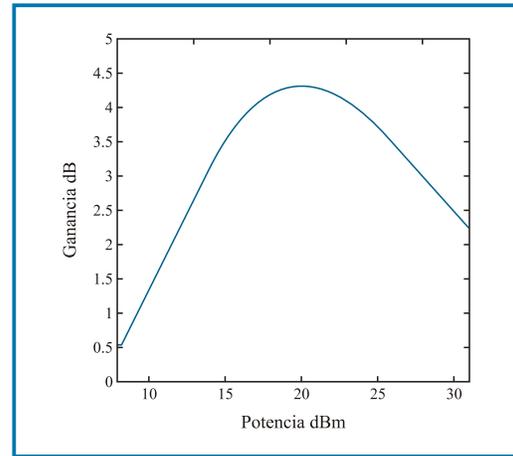


Figura 6. Ganancia versus potencia de entrada para el amplificador clase F.

Dos fenómenos importantes que ocurren en este tipo de amplificadores son saturación y distorsión. La saturación se utiliza usualmente en amplificadores de potencia.

Un problema predominante está relacionado con la producción de armónicos múltiples de las frecuencias de las señales de entrada a la salida del amplificador, y en el caso de múltiples frecuencias de entrada algunos de estos armónicos están en la banda de paso del amplificador. En la práctica los niveles de distorsión se mantienen 50 a 80 dB por debajo del nivel de la señal de entrada.

Los amplificadores de potencia clase F fabricados presentan una buena eficiencia, pero ganancia reducida.

Se encontró un corrimiento en la frecuencia de la respuesta de los amplificadores, el cual fue mayor en el diseño a base de líneas microstrip. Este corrimiento es debido, posiblemente, al modelo del empaquetado.

8. REFERENCIAS

- Aoki, N., Asano, Y., Minova, M., Takano, T. (1992) Improved Output Spectrum of Linearized Class-F Power Amplifier for Digital Cellular Mobile Communications IEEE.
- Davis, W. A., Agarwal, K. R., (2001) Radio Frequency Circuit Design, (ed.), New York, John Wiley.
- Duvalaud, C., Dietsche, S., Pataut, G., Obregon, J., (1993) High Efficient Class F GaAs FET Amplifiers Operating with Very Low Bias Voltages for Use in MobilTelephones at 1.75 GHz. IEEE Microwave. volume 7, pag 40-48.
- Gonzalez, G., Microwave Transistor Amplifiers (1997), 2nd ed. (ed.), New Jersey, Prentice Hall.
- Pozar, D., Microwave Engineering (1998), 2nd ed. (ed.), New York, John Wiley.
- Pozar, D., (2001) Microwave and RF Design of Wireless Systems, (ed.), New York, John Wiley.
- Rohde, U. L., Newkirk D. P., (2000) RF/Microwave Circuit Design for Wireless Applications, (ed.), New York, John Wiley.
- Rudiakova, A. N., (2005). BJT Class-F Power Amplifier near Transition Frequency. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, volume 53, pag 45-50.